

中小學化學領域中的「溶液」主題單元 概念的深廣度與其化學實驗活動之 連貫性與適用性之研究

楊永華 王澄霞

國立臺灣師範大學化學系

摘 要

本研究收集並分析國內外（中、美、英、日）由小學至高中有關「溶液」主題概念之實驗活動，研討其所包含的化學概念，建立主題概念的發展順序、分析與比較其所含的科學過程與科學態度，並探討其實驗活動與概念的銜接問題。特別針對「溶液」有關量的處理之實驗活動進行評鑑，經由實作過程獲得結果並提供建議。

前 言

自然科學課程都安排有實驗活動，讓學生從實驗活動中發展出所要學習的概念或驗證所學習的概念。化學為自然科學之一門，由於它包含許多抽象的概念，更須藉助實驗活動，使學生能對概念加以融會、同化和吸收，並從「做中學」的過程中獲得實際經驗，以瞭解所學習的概念，建立其應有的實驗技能，體會實驗活動的科

學過程，並且培育科學態度。從實驗活動所發展出來的化學概念，學生所得之深度與廣度遠大於課堂上的講授。因此，世界各國自然科學課程中皆安排有實驗活動，以培養學生的科學素養。

化學課程中的實驗活動包含各種概念，而且同一概念在各個學習階段，其實驗活動所包含內容的深度與廣度應該不同，

如果將同一概念體系所屬的各個概念統合在一起，即形成所謂「主題單元概念」的形態。將主題單元中的概念，依照各學習階段實驗活動的次序排列整理，即可瞭解各階段概念的層次、其發展方式、概念之間的縱橫關係以及同一概念在不同階段的深寬內容。從主題概念的發展順序中，可以對各階段的概念內容與層次做鳥瞰式的通盤瞭解，作為各主題概念或同一主題概念之間的連貫性的參考，此在課程設計方面具有重大的價值。

在化學領域中，「溶液」主題單元占有相當重要的地位，因為許多化學反應在溶液中發生；而且在社會大眾的生活中，「溶液」是常見熟知的名詞或現象，它包含無數的物質與概念。化學教材除注重學科本身的學理結構，尚須配合社會生活的需要。「溶液」主題單元除與生活具有密切的關係外，它也包含科學研究的要素——“量”之“量化”的實驗活動。因此，「溶液」主題單元是達成「培育全民科學素養」的優良教材。

本研究收集國內外（中、美、英、日）由小學國中至高中有關「溶液」主題單元之實驗活動，分析各實驗活動所包含的化學概念建立其主題概念的發展體系。並分析與比較各實驗活動所含的科學過程與科學態度，進而探討「溶液」主題概念在各學習階段的連貫性與適用性及銜接的問題。

本研究特別針對「溶液」主題單元中關於“量的處理”的實驗活動（例如溶解度、濃度），根據下列七項原則評估其連貫性與適用性：

（1）實驗活動的結果能否提供足夠的實驗證據以形成主題概念？不同學習階段的主題概念是否連貫？

（2）實驗內容（程序）能否配合學生的認知能力？

（3）實驗內容能否與學生之舊有經驗（含技能）配合？

（4）實驗的安全性？

（5）實驗所需的器材是否容易獲得而且價廉？

（6）實驗費用是否合乎經濟原則？

（7）實驗能否在適當的時間內完成？

本研究經由研究人員試做後，從小組試教或班級試做過程中獲得具體研究結果，提供實驗改進之依據，及編寫各級學校「溶液」主題單元教材之參考。

壹、結果與討論

（一）經由分析與整理過程，得到各國各個學習階段有關「溶液」之實驗活動分析內容大致相同，並且遵循由「具體至抽象，巨觀至微觀，定性至定量」的方式發展。

（二）針對「溶液」主題單元各實驗活動涉及「量的處理」者說明如下：

1. 對於「量」的處理，國小階段只有日本一國實施——即食鹽不等重量加入等量水中，測此溶液重量。此一實驗須使用天平，如果設備良好的學校應能實施此一實驗活動。

2. 國中階段的本主題單元涉及其他主題單元的聯繫，如溶液的溶解度和溫度的關係（此一實驗須使用簡單的恒溫設備）、濃度（涉及「酸和鹼」單元中當量濃度的關係）等，在概念橫的連繫方面須加安排。

3. 高中階段的實驗活動以定量方式實施，如探求平衡常數、酸之解離常數及溶度積等。

4. 各國在較低學習階段對量的處理所要求的精密度較低，如體積以整數值的毫升數表示，重量以整數的克數表示。在較高學習階段則要求較高的精密度，如以小數點、有效數字來表示測量的數值。

(三) 本主題單元之實驗活動，各國教材各具特色。茲以我國的實驗活動為中心，其他國家教材則只列舉其特點的方式進行研討：

1. 小學階段：

(1) 我國：小學階段有關「溶液」的實驗活動內容及數量皆相當豐富。自一年級起即安排學生認識各種溶液，所使用的物體為日常生活中常見者：如果汁、肥皂水、氨水、硼酸水等。主要介紹物體與液體（水）之間會發生交互作用的現象——

溶解（如同一物體在不同溶濟中的溶解情形），進而發展溶液與物體的交互作用及溶液中各種化學變化現象，最後為認識酸、鹼溶液交互作用後會發生變化。

此階段是以物體所發生的現象變化做為認識溶液性質的基準，進而建立現象變化的操作型定義。本階段屬於「認識現象」的學習，是以巨視方式了解溶液的現象及性質。

(2) 美國：①使用醋及大理石反應——說明液體和物質所發生的交互作用。②食鹽溶於水——說明溶液的“擴散”現象。

(3) 日本：①在四年級介紹溶解現象。②食鹽在水中的溶解度（數量）——在五年級實施，導入「在一定體積的水中，食鹽溶得越多，溶液越重」的操作型定義。並配合能量單元，導入溫度之變化與溶解數量之關係。

※此為各國小學階段裏唯一包含物質之溶解程度之定量實驗。

2. 國中階段：

(1) 我國：除了延伸小學階段的巨視現象外，開始以微視方式認識溶液的性質（真溶液與膠體溶液），此時與「物質的粒子性」主題單元配合，以離子、分子觀點瞭解溶液中的現象與變化。此外，由認識「飽和溶液與不飽和溶液」導致溶解度概念，即由定性方式進展為定量方式，並討論微觀的平衡現象，影響平衡的因素

等。本階段尚配合「能量」主題單元，探討溫度與溶解度的關係。

(2) 美國：①在一定體積的水中溶解不同數量的食鹽——導入「溶解度」概念。（此一實驗活動和日本小學階段實驗活動相同。）②離子反應（硫酸鎂和碳酸鈉反應）釋出能量——此與「能量」單元有關。

(3) 英國：①從岩鹽溶液中製鹽——「溶質」與「溶劑」的概念。②溶液的導電性——認識「離子」存在的事實。③溶液中離子的反應。

(4) 日本：硫酸銅和氯化鋇反應產生硫酸鋇，研究硫酸鋇生成量和反應溶液濃度的關係。

3. 高中階段：

(1) 我國：分為「基礎理化」和「高中化學」兩個階段：①「基礎理化」：綜合國中階段的概念，認識水溶液中的化學變化及平衡的變化，是以定性方式結合粒子性質的綜合實驗活動，注重於現象的了解。②「高中化學」：導入重結晶技術，測定平衡時溶液成分的濃度，進而發展平衡常數、溶度積與勒沙特列原理等概念，而且以定量方式進行實驗活動而驗證以上諸概念。本階段亦在溶度積概念方面介紹日常生活中常見的硬水及其檢驗與硬水軟化技術。本階段在定量方面亦研討濃度與反應速率之關係。

(2) 美國：不分階段。①水溶液離

子反應的定性檢驗技術。②以比色方法測定溶液的濃度，推算溶液的平衡常數。

(3) 英國：不分階段。①比較有機物質與無機物質在水中的溶解情形。②食鹽膠態溶液的製法。③測定水的硬度——定量實驗。

(4) 日本：分階段。①以 pH 試紙測定不同濃度醋酸的 K_a 值。②以離子交換樹脂技術濃縮 Cu^{2+} 離子，以及分離 Fe^{3+} 及 Ni^{2+} 離子。

4. 就「溶液」單元各實驗活動所發展之技能，小學階段為混合固體與液體，進而至混合溶液、物質和溶液反應的技術。國中階段則包含配製溶液（包括飽和溶液）和混合溶液，操作導電裝置（美、英）以研討溶液性質。高中階段除了綜合上述技術外，尚包含離子檢驗與分離技術、比色方法、膠態溶液之配製、檢驗硬水、重結晶及操作離子交換樹脂等技術。

5. 各國本主題單元實驗活動所使用的器材為玻璃器材、導電裝置與離子交換樹脂，皆為價廉而且容易獲得者，使實驗活動容易推展。亦有部分實驗活動選用昂貴化學藥品，如美國的「醋酸銀的溶度積常數」實驗中使用醋酸銀，頗不經濟。

6. 本單元所使用的藥品多以溶液形態實施，可以在一節課內完成。

7. 一般而言，本單元實驗活動所使用的藥品安全性甚高，唯有少數實驗活動使用危險性較高的藥品，如「以溴水說明

平衡現象」須指導學生注意安全（如通風良好），或改以教師示範實驗來實施。

(四)、經由分析與比較，歸納各階段「溶液」主題單元優良的實驗活動，並經修正其內容以配合主題概念發展。此外，並另行設計適用教材，進行試做後，由各階段學校小規模實施，並評鑑其成效。

1. 本單元所選出或設計之適用教材，其所含知能、技能、精密度及性質異同分類處理方法列於表6。此適用教材是依「定性至定量、具體至抽象、巨觀至微觀」的原則編排而成，以銜接本主題單元自小學至高中等階段的知能與技能，使教材連貫一致。

2. 本主題單元適用教材經學校實施後，其成效如下：

項目 階段	實驗活動名稱	學生數	平均值	標準差
小學	食鹽溶液	47	86.3	6.8
國中	飽和溶液與未飽和溶液	20	85.0	5.6
	化學平衡	20	91.8	6.9
高中	硝酸鉀的重結晶	9	82.7	1.9
	醋酸的平衡常數	10	68.8	2.6
	氫氧化鋁的溶度積常數	10	77.0	1.6
	反應速率（濃度的效應）	10	83.6	3.4

(1) 由上表得知，本主題單元理想實驗活動「醋酸的平衡常數」實驗以外，其他的平均值在八十分以上。

(2) 高中階段成績的標準差比其他階段小，顯示高中學生的學習水準相當平均，即學生的學習能力相當接近，此或與高中學生參加入學考試而經過篩選，以致成績相近。

貳、結 論

(一) 綜觀世界各國「溶液」主題單元實驗活動，在小學階段是學習液體的特性，從觀察物體與液體（或溶液）的交互作用現象認識溶液的性質，進而建立溶液的操作型定義。國中階段繼續發展關於溶液的概念，除了認識溶液的巨觀性質外，並開始以微觀方式瞭解溶液的本質，例如溶液的平衡現象，闡釋平衡的可逆性，以及以定量方式學習溶解度等。高中階段則深入發展抽象及微觀概念的學習，以定量方式測定溶解度、溶度積常數及平衡常數。

(二) 本主題單元中概念與實驗活動配合的方式，各國皆遵循「由具體至抽象、巨觀至微觀、定性至定量」的原則，而且配合學生的認知能力。

(三) 各國「溶液」主題單元實驗活動除注重學理結構以發展必要的知能外，為兼顧學生的學習興趣，宜增列與生活相關的實驗活動（如硬水，離子交換樹脂）；

或者，在每一實驗活動中增列其在生活上的應用，俾能使學生學以致用。

(四) 各國「溶液」主題單元有關「量的處理」之實驗活動大多安排於高中階段，而且，其所要求達成的精密度水準相似，顯示各國對學生的學習成就要求水準相同，並無文化與社會背景的影響。而小學與國中階段有關「量的處理」的實驗活動數量較少，而所要求的精密度比高中階段低。

(五) 我國之本主題單元的實驗活動數量多，其內容豐富，活動之銜接方式亦適宜，符合概念發展順序。（濃度與溶解度之概念次序宜倒換為宜，因濃度的概念內容比溶解度大）。美國教材在層次與數量方面均遜於我國同一階段之教材。英國教

材則兼顧學理結構與日常生活知識。日本教材之小學階段實驗活動為本主題單元小學階段唯一涉及「量的處理」者。

(六) 本主題單元在橫的概念連繫方面，涉及能量、酸與鹼、氧化與還原等概念。因此，其概念發展順序須和其他主題單元所包含之概念密切配合。

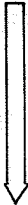
(七) 本研究所設計之理想實驗活動，在評估其成效後，由其平均值顯示可以達到實驗所欲發展的知能與技能，以及培養其科學過程與科學態度的目標，即達成「培育全民科學素養」的教育目標。

本文所附表格見第 18～30 頁

致 謝

本研究承蒙國科會專案補助，計畫編號：NSC 73-0111-S003-05，謹此致謝。

表1 中國

概念發展順序	實驗活動名稱	知 能	實 驗 主 要 內 容	技 能
物體和液體的交互作用 	小) [二、8] 果汁	小) 檸檬汁和白色粉末之關係	小) 檸檬汁和碳酸氫鈉之交互作用	小) 混合固體與液體
	小) [十、2] 神秘粉末	小) 粉末和液體的交互作用	小) 碳酸氫鈉和水、食醋、碘液之交互作用	小) 固體與液體混合
	小) [四、9] 氣泡和氣球	小) 溶解	小) 肥皂粉溶於水	小) 固體與水混合
溶 液 	小) [五、7] 硼酸的溶解	小) 溶解	小) 硼酸、肥皂粉溶於水中	小) 固體與水混合
	小) [5-8] 認識氨水	小) 溶液的交互作用	小) 氨水、酒精、清水和硫酸銅溶液的交互作用	小) 溶液混合技術
	小) [六、12] 彩色溶液	小) 溶液的交互作用	小) 彩色溶液和水、食鹽水及彩色溶液之交互作用	小) 溶液混合技術
溶液與物體的交互作用 	小) [十一、3] 水溶液的反應	小) 水溶液的性質	小) 以石蕊試紙檢驗食鹽水和食醋	小) 溶液檢驗
	基) [二] 水的性質 2. 水中的化學變化	基) 水溶液的酸鹼性	基) 檢驗水中加入 CO_2 及生石灰後之酸鹼性	基) 1. 配製溶液 2. 分類
	中) [4-1] 真溶液與膠態溶液	中) 1. 溶解 2. 真溶液 3. 膠態溶液	中) 1. 氯化鋁溶液與硫酸銅溶液混合 2. 沙拉油、洗衣粉溶於水	中) 1. 配製溶液 2. 混合溶液
溶液的化學反應 	中) [4-2] 飽和溶液和未飽和溶液	中) 1. 飽和溶液 2. 未飽和溶液 3. 溶解度	中) 以重鉻酸鉀溶液配製飽和溶液	中) 1. 配製溶液 2. 配製飽和溶液
	高) [十之1] 濃度的效應	高) 1. 反應速率 2. 濃度是影響反應速率的因素	高) IO_3^- 和亞硫酸根反應， IO_3^- 之濃度變化來測定反應速率	高) 1. 馬錢用法 2. 測定顏色變化 3. 配製溶液

註：“+”符號表示合乎標準；“-”符號表示不合乎標準。

中小學化學領域中的「溶液」主題單元概念的深廣度與其化學實驗活動之連貫性與適用性之研究

科學過程	科學態度	精密度	異同分類處理方法	時間(分)	器材	安全	合乎學生能力
觀察：氣泡 傳達	好奇心 信心		化學定性	10	+	+	+
觀察 傳達 分類	好奇心 信心 客觀		化學定性	10	+	+	+
觀察：氣泡 傳達	好奇心 信心 客觀		物理定性	10	+	+	+
觀察：溶解 傳達	好奇心 客觀		物理定性	20	+	+	+
觀察：變化 傳達 操作型定義	客觀 精明 信心		化學定性	30	+	+	+
觀察 傳達 操作型定義	客觀 信心 精明		化學定性	30	+	+	+
觀察：顏色 傳達 操作型定義	尊重事實 信心 精明		化學定性	20	+	+	+
觀察：顏色 分類 傳達	客觀 精明 信心		化學定性	20	+	+	+
觀察 分類 傳達	客觀 精明 信心		化學定性	50	+	+	+
觀察 傳達 形成假說：溶解度	客觀 精明 信心	濃度：10 % 重量百分濃度	物理定量	50	+	+	+
觀察：顏色 測量：時間濃度 傳達：形成假說 控制變因：濃度實驗	客觀 精明 耐心 合作精神	稱重：±0.1 g 時間：±1 秒	物理化學定性定量總合	50	+	+	+

續表 1

概念發展順序	實驗活動名稱	知 能	實 驗 主 要 內 容	技 能
↓ 溶解度	中) [6-4.2] 溫度與溶解度	中) 1. 溶解度 2. 過飽和溶液	中) 以硝酸鉀溶液加熱形成過飽和溶液	中) 配製過飽和溶液
	高) [七] 硝酸鉀的溶解度與再結晶	高) 1. 溶解度 2. 再結晶法	高) 75 % 硝酸鉀加 25 % 氯化鈉之再結晶	高) 1. 配製溶液 2. 再結晶法
↓ 化學平衡 (可逆反應)	中) [21-4] 可逆反應與化學平衡	中) 1. 可逆反應 2. 化學平衡	中) 1. 溴水在酸鹼中的反應 2. 鉻酸鉀先加酸，再加鹼之反應	中) 配製溶液
	基) [四-2] 化學反應的平衡	基) 1. 可逆反應 2. 化學平衡	基) 1. $K_2Cr_2O_7$ 溶液先加 HCl，再加 NaOH 2. $K_2Cr_2O_7$ 溶液先加 NaOH，再加 HCl	基) 配製溶液
↓ 勒沙特列原理	中) [21-5] 平衡的改變	中) 平衡受濃度變化影響而變化	中) 銅離子與氫氧根離子及氨反應	中) 配製溶液
	高) [九] 平衡常數與勒沙特列原理	高) 1. 勒沙特列原理 2. 平衡常數	高) 1. CrO_4^{2-} 與 $Cr_2O_7^{2-}$ 之平衡 2. $BaCrO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$ 3. $FeSCN^{2+}$ 之平衡常數	高) 1. 配製溶液 2. 比色技術
[氣體]	小) [九、3] 兩種氣體	小) 二氧化碳能和澄清的石灰水起交互作用	小) 以 CO_2 通入澄清石灰水中，使發生交互作用	小) 配製溶液
↓ 沈 澱	小) [十、4] 硫酸銅的沈澱	小) 1. 溶液 2. 沈澱	小) 在硫酸銅溶液中加入酒精，使其沈澱	小) 1. 稱重 2. 配製溶液
↓ 溶度積常數	中) [3-1.2] 二氧化碳的檢驗	中) 1. 溶解度 2. 沈澱	中) 以石灰水檢驗二氧化碳氣體	中) 檢驗二氧化碳之技術
	高) [十一] 溶度積	高) 1. 溶解度 2. 濃度 3. 飽和溶液 4. 溶度積	高) 1. $PbCl_2$ 的溶解度 2. 飽和濃度中鉛離子濃度的測定 3. 飽和溶液中氯離子的測定	高) 1. 稱量 2. 配製溶液 3. 測定濃度
↓ 軟 水	高) [六] 硬水之檢測及軟化法	高) 1. 暫時硬水 2. 永久硬水 3. 軟化法	高) 以肥皂水檢驗 $MgSO_4$ 溶液與 $CaCO_3$ 溶液	高) 檢驗硬水之技術

註：“+”符號表示合乎標準；“-”符號表示不合乎標準。

中小學化學領域中的「溶液」主題單元概念的深廣度與其化學實驗活動之連貫性與適用性之研究

科學過程	科學態度	精密度	異同分類處理方法	時間 (分)	器材	安全	合乎學生能力
觀察 傳達 推理：過飽和	客觀 耐心 精明		物理定量	30	+	+	+
觀察 傳達 實驗	客觀 耐心 精明 合作精神		物理定量	50	+	+	+
觀察 傳達 推理	客觀 耐心 精明		化學定性	50	+	+	+
觀察 傳達 推理	客觀 耐心 尊重學理結構	以滴數來計算	化學定性定量	25	滴管 +	+	+
觀察 傳達 推理	客觀 耐心 精明	滴管滴數	化學定性定量	30	滴管 +	+	+
觀察 傳達 推理 測量：比色	客觀 耐心 精明	比色法	化學定性定量	50	+	+	+
觀察：沈澱 傳達 推理：反應	好奇心 信心 精明		化學定性	50	+	+	+
觀察：沈澱 傳達 控制變因：濃度	尊重事實 精明 耐心	稱重： $\pm 1\text{ g}$	物理定量	50	+	+	+
觀察：白色混濁 傳達 推理	客觀 精明 信心		化學定性	30	+	+	+
觀察 測量：濃度 傳達	客觀 耐心 精明 合作精神	滴定管讀數： $\pm 0.02\text{ ml}$	化學定性定量	50	+	+	+
觀察：肥皂泡沫 傳達 形成假說：硬水	客觀 耐心 精明 合作精神		化學定性	50	+	+	+

表 2 美國

概念發展順序	實驗活動名稱			能知			實驗主要內容		
	小	學	國	中	高	中	學	國	中
溶解 ↓ 液 ↓ 離 ↓ 濃度 (溶解度) ↓ [能量] ↓ 溶解的化學反應 ↓ 平衡 ↓ 勒沙特列原理 ↓ 沈澱	[5, 單元2] 如何辨別大理石			物質會變化			食醋與 CaCO_3 反應 在杯內各處食鹽水溶液的味有何不同?		中
	[5, 單元8] 食鹽在水中會擴散嗎?							在 CuSO_4 溶液通直流電, 看鉛電極之變化	
	[10] 發現離子				CuSO_4 在水中可變成帶電荷之粒子				
				[11] 水溶液中離子的反應		1. 離子 2. 離子方程式			Ba^{2+} , Ag^+ , Cl^- , NO_3^- , Na^+ 等離子的反應
				[探究 7-2] 溶液和濃度		濃度		將 1g、3g、5g、8g 之食鹽分別溶於 20 ml 水中	
				[探究 19-2] 模型應用		離子反應會產生熱量		MgSO_4 與 Na_2CO_3 反應, 測量溫度上升	
				[15] 化學平衡					$\text{Fe}^{+8}(\text{aq})_2 + \text{SCN}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{+}(\text{aq})$ 比色法
				[19] 勒沙特列原理		平衡常數			1. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{CrO}_4^{2-}$ 2. $\text{BaCrO}_4 \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-}$ 3. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 在 HOAc , HNO_3 等的反應
	[探究 6-12] 認識化學反應					1. 反應 2. 反應物		1. BaCl_2 與 $\text{CuSO}_4(\text{s})$ 反應 2. 貝殼與 HCl 反應 3. 酚與 HCl 反應	
	[探究 10-1] 離子					1. 溶解度 2. 溫度影響溶解度		CuSO_4 (或 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 溶於水, 改變溫度以影響其溶解度	
沈澱				[16] 醋酸銀溶解度的測定		1. 溶解度 2. 離子			求醋酸銀在水中之 K_{sp} , 以銅來使 Ag^+ 離子生成 $\text{Ag}(\text{s})$, 稱重來測定

註：“+”符號表示合乎標準；“-”符號表示不合乎標準。

續表 2

技 學 小	能			科 學 過 程	科 學 態 度	精 密 度	異同分類 處理方法	時 (分)	器 材	安 全	學 生 能 力
	國	中	高 中								
操作藥品之混合				1.觀察 2.傳達	1.好奇心 2.信心		化學定性	20	+	+	+
配製溶液				1.觀察：溶液 2.測量：鹹味 3.傳達	1.好奇心 2.信心 3.精明	味覺：鹹味	物理定性	20	+	+	+
		操作導電裝置		1.觀察：電極產物 2.傳達 3.操作型定義	1.客觀 2.信心 3.精明		物理定性	50	+	+	+
			混合及檢驗離子	1.觀察 2.傳達 3.推理	1.客觀 2.耐心 3.精明		化學定性	50	+	+	+
		配製溶液		1.觀察 2.傳達：重量 3.測量體積 4.操作型定義	1.客觀 2.耐心 3.精明	天平： ± 0.1 g 體積： ± 0.1 ml (量筒)	物理定量	50	+	+	+
		1.配製溶液 2.測量溫度		1.觀察：溫度 2.測量：溫度 3.傳達 4.操作型定義	1.客觀 2.耐心 3.尊重學理結構	溫度： $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	化學定性	50	+	+	+
			比 色	1.觀察：顏色 2.測量：比色 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.耐心 3.精明	比 色 法	化學定量	50	+	+	+
		配製溶液		1.觀察：顏色 2.傳達 3.推理	1.客觀 2.耐心 3.尊重學理結構		化學定性	50	+	+	+
		混合試劑		1.觀察：沈澱 2.傳達 3.操作型定義	1.客觀 2.信心		化學定性	50	+	+	+
		加熱技術		1.觀察：固體 2.傳達 3.操作型定義	1.客觀 2.信心 3.尊重學理		物理定量	50	+	+	+
		配製溶液		1.觀察 2.傳達 3.推理 4.測量：重量	1.客觀 2.信心 3.耐心	天平： ± 0.01 g	化學定量	50	+	+	+

表3 英國

概念發展順序	實驗活動名稱		知 能		實 驗 主 要 內 容	技		能
	Stage I φ II	Stage III	Stage I φ II	Stage III		Stage I φ II	Stage III	
溶解	[1, 1] 純化食鹽		1. 溶解 2. 溶液 3. 晶體		從岩鹽溶液製鹽	蒸發技術		
溶液		[1, 2, a] 溶質與溶劑		1. 溶質 2. 溶劑	KNO_3, I_2 , 苯、石蠟等不能溶於水			配製溶液
溶液性質		[3] 膠態溶液		膠態溶液	NaCl 之膠態溶液			配製膠態溶液
離子	溶液是否導電?		1. 導電 2. 電解質		測 $KI, H_2SO_4, NaOH, CuSO_4, ZnSO_4$, 等溶液是否導電	1. 配製溶液 2. 導電裝置		
離子	離子之電解		1. 電解質 2. 離子		以離子解釋原子結構	推 理		
溶解度	[19, 1] 化學反應的兩種觀點	[1, 21] 過飽和	平 衡	過飽和	$Na_2S_2O_3$ 在 $0^\circ C$ 、 $45^\circ C$ 、 $60^\circ C$ 之溶解度			配製溶液
化學平衡	[19, 1] 平 衡		1. 正反應 2. 逆反應		$Br_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + Br^-(aq) + HOBr$ 之平衡移動	加入試劑 檢視平衡		
	[19, 3] 動平衡		動平衡		$KI + I_2$ 之平衡移動	檢視平衡狀態		
	[17-1] 沈澱反應		1. 溶解度 2. 沈澱		硝酸銀之平衡系中加入 HCl 或硝酸鉛	配製溶液		
沈 澱		[1, 3] 水之硬度		1. 硬水 2. 硬度	1. $Pb(NO_3)_2 + KI$ 2. $BaCl_2 + Na_2CO_3$ 3. $BaCl_2 + KMnO_4$	製 沈 澱		
硬水					檢驗水中之離子			

註：“+”符號表示合乎標準；“-”符號表示不合乎標準。

續表 3

科學過程	科學態度	精密度	異處	分類方法	時間 (分)	器材	安全	學生能力
1.觀察：溶液 2.傳達：定義 3.操作：定義	1.客觀 2.耐心	量筒：±1 ml	物理定性		50	+	+	+
1.觀察：溶解 2.傳達：定義 3.操作：定義	1.客觀 2.信心		物理定性		50	+	+	+
1.觀察：溶液 2.傳達：分類 3.分類	1.客觀 2.信心		物理定性		50	+	+	+
1.觀察：導電 2.分類 3.傳達	1.客觀 2.耐心		物理定性		50	+	+	+
1.傳達 2.推理	1.尊重學理 2.耐心 3.精明	量筒：±1 ml	化學定量		50	+	+	+
1.觀察 2.傳達：假說 3.形成	1.客觀 2.信心		物理定量		50	+	溴水	+
1.觀察：溶液 2.傳達：推理 3.推理	1.客觀 2.精明		化學定性		50	+	+	+
1.觀察：溶液 2.傳達：推理 3.推理	1.客觀 2.精明		化學定性		50	+	+	+
1.觀察 2.傳達：假說 3.形成	1.客觀 2.耐心		化學定性		50	+	+	+
1.觀察：沈澱 2.傳達：分類 3.分類 4.推理	1.客觀 2.耐心 3.精明		化學定性		50	+	+	+
1.觀察：沈澱 2.傳達：推理 3.推理 4.推理	1.客觀 2.精明		化學定性		50	+	+	+

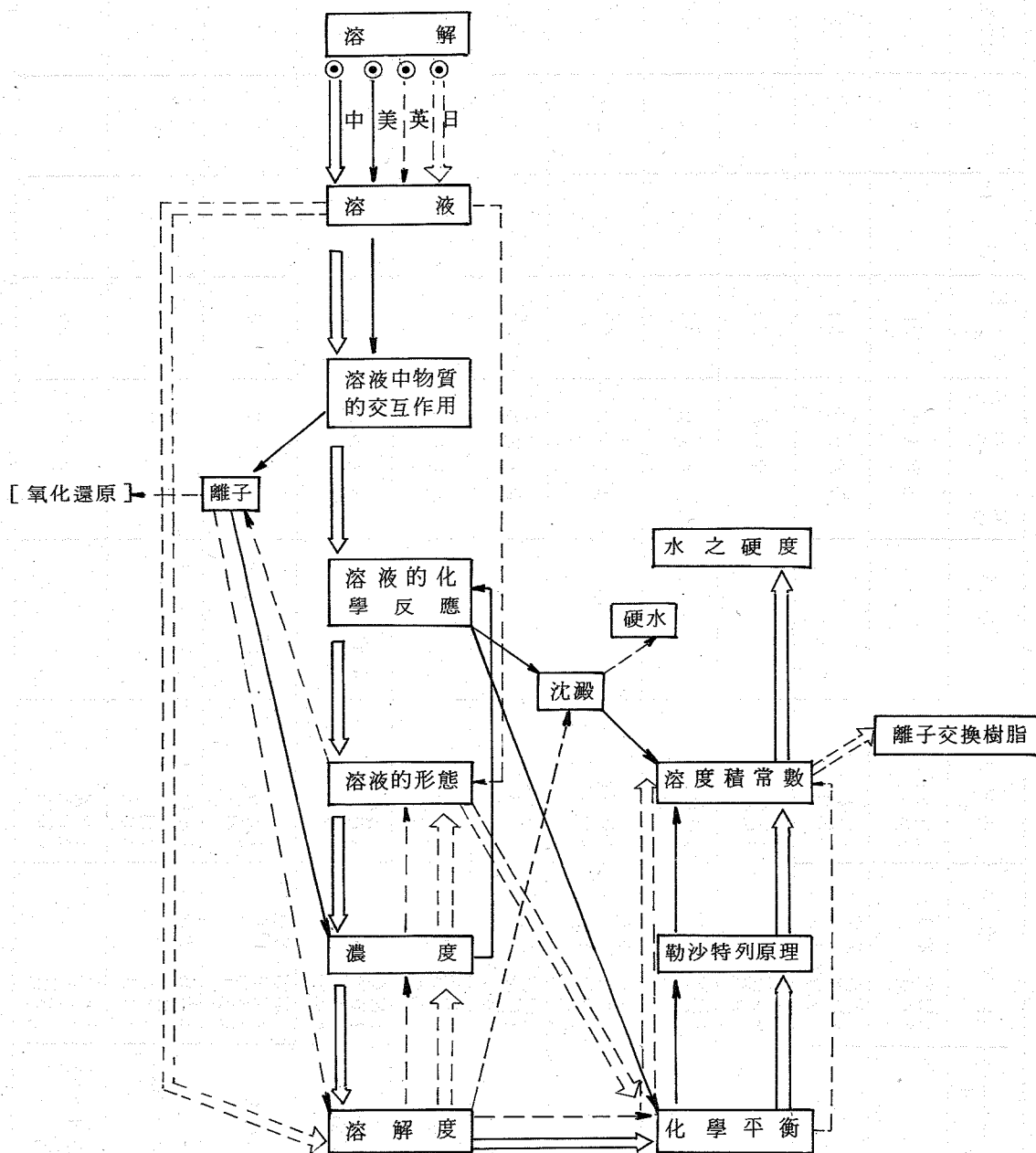
表4 日本

概念發展順序	實驗活動名稱			能知			實驗主要內容		
	小學	國中	高中	小學	國中	高中	小學	國中	高中
溶解 ↓ 溶液 ↓ 溶解度 ↓ 溫度 ↓ 濃度 ↓ 水溶液之性質 ↓ 平衡常數 ↓ 溶解度 ↓ 離子交換樹脂	[4下, 8] 物體之溶解			NaCl 加水, 看其變化			溶解之技術		
		[1上, 5-1] 水溶液			6種有色溶液, 置於玻璃片上加熱			加熱至乾	
	[5下, 6-1] 食鹽水			100 g 水中溶 30 g、40 g、50 g 之食鹽			配製溶液		
	[5下, 6-2] 食鹽水之溶解度與溫度之關係			食鹽水加熱使溶解量增加			配製溶液		
	[5下, 6-3] 食鹽溶液			水 100 g 各加入 10 g、5 g、1 g 之食鹽			配製溶液		
		[1上, 5-研, 1] 硫酸銅溶液			CuSO ₄ 與 BaCl ₂ 反應, 生成 BaSO ₄ , 量與濃度關係			加熱至乾 混合溶液	
						比較純水、硝酸之導電性			導電裝置
						以 pH 試驗紙測 0.05N, 0.01N, 0.001N 醋酸之 K _a			1. 測 pH 2. 測 K _a
						硝酸銅及硝酸鐵分別加水, 以 pH 值測平衡常數			配製溶液
						硝酸銀、硫酸銅、硫酸鉛之金屬離子之分離			分離金屬離子
						1. 濃縮 Cu ²⁺ 離子 2. 分離 Fe ³⁺ 與 Ni ²⁺ 離子			離子交換樹脂

註：“+”符號表示合乎標準；“-”符號表示不合乎標準。

續表 4

技 能	技 能			科 學 過 程	科 學 態 度	精 密 度	異 處 同 理 方 法	時 間 (分)	器 材	安 全	學 生 能 力
	小 學	國 中	高 中								
溶解之技術				1.觀察：溶解 2.傳達	1.好奇心 2.信心		物理定性	30	+	+	+
		加熱至乾		1.觀察：晶體 2.傳達 3.操作型定義	1.客觀 2.精明		物理定性	50	+	+	+
配置溶液				1.觀察：溶液 2.傳達 3.分類	1.好奇心 2.信心		物理定性	30	+	+	+
配置溶液				1.觀察：溶液 2.傳達 3.操作型定義	1.好奇心 2.尊重事實		物理定性	40 +	+	+	+
配置溶液				1.觀察：溶液 2.傳達 3.操作型定義 4.測量	1.好奇心 2.耐心	天平： $\pm 1\text{ g}$	物理定量	40 +	+	+	+
		混合溶液		1.觀察：沈澱 2.傳達 3.操作型定義	1.好奇心 2.客觀 3.精明		化學定量	30 +	+	+	+
			導電裝置	1.觀察：導電 2.傳達 3.推理	1.客觀 2.精明		物理定性	50	+	+	+
			1.測 pH 2.測 K_a	1.觀察：顏色 2.傳達 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.信心 3.精明	pH 值： $\pm 1\text{ pH}$	化學定量	50	+	+	+
			配置溶液	1.觀察：顏色 2.測量 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.耐心	$\Delta\text{pH}:\pm 1\text{ pH}$	化學定量	50	+	+	+
			分離金屬離子	1.觀察：沈澱 2.傳達 3.分類 4.推理	1.客觀 2.信心 3.耐心 4.精明		化學定性	50	+	+	+
			操作離子交換樹脂	1.觀察 2.分類 3.傳達 4.推理	1.客觀 2.耐心 3.精明		化學定性	50	+	+	+



說明：◎：概念發展起點

——>：中國

——>：美國

- - ->：英國

□ - - ->：日本

圖 1 各國「溶液」主題單元概念發展順序流程對照圖

表 5 各國「溶液」主題單元有關「量的處理」實驗活動

階段 國別	學	國	高	中
中 國		1. 飽和溶液和未飽和溶液 2. 溫度與溶解度	1. 「基礎理化」： $K_2Cr_2O_7$ 溶液顏色變化與鹽酸或氫氧化鈉溶液滴數之關係。 2. 「高中化學」：硝酸鉀的溶解度。 3. 「高中化學」：測定平衡常數。 4. 「高中化學」：碘化鉛的溶度積。 5. 「高中化學」：反應速率的濃度效應。	
美 國		配製各種濃度的食鹽溶液	1. 由比色法測定 $FeSCN^{2+}$ 溶液的平衡常數。 2. 醋酸銀的溶度積常數。	
英 國			$Na_2S_2O_8$ 溶液在 0° 、 45° 及 $60^\circ C$ 時的溶解度。	
日 本	比較溶液重量與水重及所加入食鹽重量的關係。		1. 「化學」：測醋酸的解離常數。 2. 「化學」：將 $Cu(NO_3)_2$ 、 $Fe(NO_3)_3$ 分別溶於水，以 pH 試紙測定並求平衡常數。	

表 6 「溶液」主題單元適用實驗活動內容分析表

項目 階段	實驗名稱	知	能	實驗主要內容	技	能	科學過程	科學態度	精密度	異同分類 處理方法
小學	食鹽溶液	一定量水中溶解的食鹽越多，則溶液的濃度越重		稱1克、5克及10克食鹽，分別加入100克水中，稱各溶液的濃度。	1. 使用天平 2. 配製溶液		1. 觀察：溶液 2. 傳達 3. 分類	1. 好奇心 2. 信心	± 1 克	物理定量
	飽和溶液與不飽和溶液	1. 溶解度 2. 飽和溶液		配製各種重量百分率之重鉀酸鉀溶液。	配製溶液		1. 觀察 2. 傳達 3. 形成假說：溶解度	1. 客觀 2. 精明 3. 信心	± 0.1 克	物理定量
中	化學平衡	1. 可逆反應 2. 化學平衡		在鉍酸溶液中，加入酸、鹼及銀離子，觀察溶液顏色變化。	使用滴管及化學平衡技術		1. 觀察 2. 傳達 3. 控制變因	1. 客觀 2. 信心 3. 精明	滴管之滴數	化學定性
	硝酸鉀的重結晶	1. 溶解度 2. 重結晶		以含70%硝酸鉀之混合物進行重結晶。	重結晶		1. 觀察 2. 傳達 3. 實驗	1. 客觀 2. 耐心 3. 精明 4. 合作精神	± 1 克	物理定量
高	醋酸平衡常數	1. 濃度 2. 平衡常數		以pH試紙測0.1N及0.01N醋酸溶液的氫離子濃度並推算其平衡常數。	使用酸鹼試紙測溶液之pH值		1. 觀察 2. 傳達 3. 推理	1. 客觀 2. 耐心 3. 精明	± 1 pH	化學定量
	氫氧化鉀的溶度積常數	1. 溶解度 2. 溶度積常數		Cd^{2+} 離子與鹼反應，生成氫氧化鉀沉澱，測其溶度積常數。	配製溶液		1. 觀察 2. 傳達 3. 控制變因 4. 推理	1. 客觀 2. 信心 3. 合作精神	± 0.1 毫升	物理定量
	反應速率一濃度的效應	1. 濃度 2. 濃度變化會影響反應速率		測定濃度改變時之反應速率。	1. 使用天平 2. 配製溶液 3. 操作馬錶		1. 觀察 2. 測量 3. 傳達 4. 控制變因	1. 客觀 2. 精明 3. 合作精神 4. 耐心	重量： ± 0.1 克 時間： ± 1 秒	化學定量

參考資料

1. 師大科教中心：高中化學實驗手冊第一冊（修訂本），PP. 17～18，第二冊（修訂本），PP. 1～12，1983。
2. 師大科教中心：高中基礎理化實驗手冊上冊（第二次修訂本），PP. 13～17，PP. 24～28，1983。
3. 師大科教中心：國中課程改進計畫試用教材第一冊，第四章；第四冊，第廿一章，1983。
4. 國立編譯館：小學自然第二冊、第四冊、第五冊、第六冊、第九冊、第十冊至第十一冊，1983。
5. CHEM STUDY：Chemistry（Laboratory Manual）實驗十一；十五；十六；十九；1963。
6. ISCS：Probing the Natural World，活動6-12；7-2；10；19-2，1971。
7. Jinn：Elementary Science，Unit 2；8，1980。
8. Nuffield Foundation：Nuffield Chemistry，The Sample Scheme Stage I and II，1967。
9. Nuffield Foundation：Nuffield Chemistry，The Sample Scheme Stage III，1967。
10. 日本東京書籍株式會社：化學第一冊；第二冊，1983。
11. 日本東京書籍株式會社：新しい科學，1983。
12. 大日本圖書：たのしい理科四下；五下，1983。